

Proses Produksi DiEtil Eter dengan Dehidrasi Etanol pada Fase Cair

Nike Dwi Savitri (L2C005286) dan Veronica (L2C005325)

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50239, Telp /Fax : (024) 7460058

Pembimbing: Widayat, ST., MT

Abstrak

Potensi zeolit alam di Indonesia cukup besar dengan kemurnian yang tinggi yaitu sekitar 60%. Katalis yang umum digunakan untuk produksi dietil eter yaitu asam sulfat. Namun katalis ini memiliki kelemahan yaitu proses pemisahan yang sulit dan bersifat korosif. Katalis padat yang dapat digunakan dalam proses dehidrasi selain alumina adalah MgO serta Silika Alumina dan WO_3 . Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh waktu dealuminasi katalis dan jenis katalis padat pada proses dehidrasi etanol pada fase cair dengan katalis zeolit alam dari Kabupaten Malang. Variabel yang divariasi yaitu waktu aktivasi dengan rentang 5 – 24 jam dan campuran dengan zeolit alam dari kabupaten Gunung Kidul. Respon yang diamati yaitu berat katalis setelah proses dealuminasi dan volume setelah uji katalitik. Secara garis besar, penelitian ini terdiri dari 3 tahap yaitu tahap dealuminasi, kalsinasi dan dehidrasi etanol. Katalis zeolit yang dihasilkan dianalisa dengan alat X Ray Diffraction (XRD). Produk cair uji katalitik dianalisa dengan alat Gas Chromatography (GC) untuk mengetahui konsentrasi DiEtil Eter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis zeolit dengan bahan baku zeolit alam Kabupaten Malang memiliki struktur kristal mordenite seperti ditunjukkan oleh analisa XRD, waktu dealuminasi tidak berpengaruh pada stuktur katalis zeolit, dan dietil eter tidak terbentuk pada fase cair karena tidak terkondensasi.

Kata kunci: dehidrasi etanol, dietil eter, zeolit

Abstract

In Indonesia, natural Zeolite has big deposit with high purity that is about 60%. Catalyst which used to produce diethylether in general, is sulphate acid. But this catalyst has feeblenesses, those are difficult separation process and corrosivity. Solid catalyst which can be used in course of dehydration besides alumina are MgO, Silica Alumina and WO_3 . This research has done to investigate the influences time of dealumination catalyst and type of solid catalyst for dehydration ethanol process in liquid phase with natural zeolit from Malang regency. Variables that we used are time of activation (5-24 hours) and mixture with natural zeolit from Gunung Kidul regency. Datas that we use are weight of catalyst after dealumination process and sample volume after catalytic test. In general, this work has 3 main processes. They are dealumination process, calcination, and ethanol dehydration. Catalyst that produced, analyzed with X Ray Diffraction (XRD) and liquid product analyzed with Gas Chromatography (GC). The result shows that natural zeolit from Malang regency have structure of mordenite crystal, there are no influence of time of dealumination to zeolite structure and there is no diethyl ether in liquid product.

Keywords: ethanol dehydration, dietil eter, zeolite

1. Pendahuluan

Akibat dari meningkatnya konsumsi energi untuk bahan bakar dan menipisnya persediaan minyak bumi yang mengakibatkan kenaikan harga BBM, sehingga mulai dikembangkan energi alternatif lainnya untuk memenuhi kebutuhan akan bahan bakar cair tersebut. Salah satu energi alternatif yang saat ini dikembangkan yaitu etanol karena sifatnya yang dapat diperbarui dan emisi akibat karbon monoksida rendah (Bailey, 1996). Namun ada beberapa kelemahan etanol sebagai bahan bakar yaitu ketersediaan etanol sebagai bahan bakar masih dibatasi, nilai kalor volumetrik, dan tekanan uap Reid lebih kecil dibandingkan dengan bensin sehingga menyebabkan kesulitan dalam pengapian pada cuaca dingin dan penyalaan awalnya (Obert, 1973 dalam Kitto Borsa, dkk, 1998). Sehingga etanol yang digunakan sebagai bahan bakar saat ini mensyaratkan konsentrasi yang tinggi yaitu etanol absolut. Untuk memperoleh etanol dengan konsentrasi tinggi, diperlukan proses pemisahan dengan energi yang besar. Hal ini dikarenakan sifat etanol dan air yang membentuk larutan azeotrop pada tekanan atmosferik dan temperatur 78°C dengan titik azeotrop 95% (Kosaric, dkk, 1993).

Pemanfaatan etanol konsentrasi rendah dapat dilakukan dengan menkonversi menjadi produk yang lebih potensial seperti DiEtil Eter (DEE). Dietil eter adalah cairan bening yang mudah terbakar dan memiliki bau yang khas. Dietil eter banyak digunakan sebagai pelarut laboratorium yang umum, memiliki kelarutan terbatas dalam air dan kelarutan yang tinggi di dalam minyak, lemak, dan resin sehingga sering digunakan untuk proses ekstraksi cair-cair. Selain itu dietil eter merupakan anestetika yang paling sering digunakan dan dianggap aman. Cairan dietil eter bersifat volatil. Pada kondisi atmosferik, dietil eter menguap pada suhu 38°C

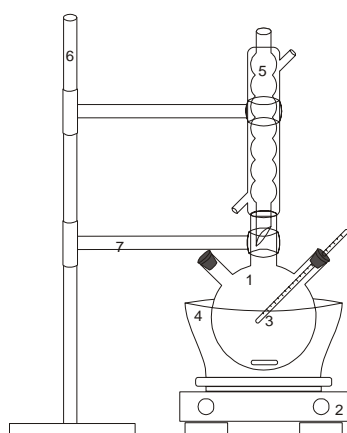
Proses produksi Dietil eter secara langsung yang paling banyak di dunia adalah sulfuric acid atau proses Barbet. Konversi Dietil eter yang dihasilkan sebesar 94-94% (Ullman, 1987). Kelemahan dari proses ini adalah pemisahan katalis masih sulit dan mahal serta katalis bersifat korosif sehingga membutuhkan investasi peralatan cukup mahal. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut dengan cara mengembangkan katalis heterogen,

Katalis yang dapat digunakan dalam proses dehidrasi selain alumina adalah MgO serta Silika Alumina dan WO_3 (Thomas, 1970 dalam Smith, 1981). Selain itu Golay (1999) juga telah melakukan penelitian proses dehidrasi etanol dengan menggunakan katalis alumina yang dimodifikasi dengan Mg^{2+} . Haber, dkk (2002) menggunakan katalis garam kalium dan perak dari asam tungstophosporic (HPW) yaitu $\text{K}_x\text{H}_3\text{-xPW}_{12}\text{O}_{40}$ dan $\text{Ag}_x\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$. Penelitian lain dilakukan oleh Zaki (2005) dengan menggunakan katalis campuran dari logam oksida yang mengandung besi dan mangan oksida dengan alumina dan/tanpa silika gel.

Dalam penelitian ini digunakan katalis dari zeolit alam yang depositnya dan kemurniannya cukup tinggi di Indonesia. Katalis zeolit yang digunakan yaitu zeolit alam dari kabupaten Malang. Zeolit merupakan kristal alumina-silika yang mempunyai struktur berongga atau berpori dan mempunyai sisi aktif yang bermuatan negatif yang mengikat secara lemah kation penyeimbang muatan. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit tetrahedron dimana setiap silikonnya berikatan dengan empat atom oksigen. Penggunaan zeolit sebagai katalis didasarkan pada sifatnya yang secara bebas dapat diakses (dimasuki) oleh reaktan ke pusat aktif intra kristal, serta bentuk dan ukuran molekul penetrant. Aktivitas katalitik secara spesifik dipengaruhi oleh sifat kebasaaan zeolit, situs asam di dalam kristal, atau partikular kation (dengan ion exchange) atau dari elemen seperti S, Te dan Se atau logam seperti Pt di kristal. (Barrer, 1982) Untuk meningkatkan kualitas zeolit alam terutama sebagai pengemban katalis maka dilakukan aktivasi terhadap zeolit alam. Proses aktivasi zeolit telah dipelajari oleh Rachwalik (2005) yaitu zeolit alam USA dilarutkan dalam larutan HCl 0,25 – 11,4 M selama 4 jam. Hal ini dimaksudkan untuk mengubah rasio framework Si/Al sehingga zeolit dapat digunakan sebagai katalis. Tujuan dari penelitian ini yaitu mempelajari pengaruh waktu aktivasi (dealuminasi) dan jenis katalis (campuran dengan zeolit alam kabupaten Gunung Kidul) terhadap konversi etanol dan selektifitas Dietil eter dengan jenis umpan yang berbeda.

2. Bahan dan Metode Penelitian

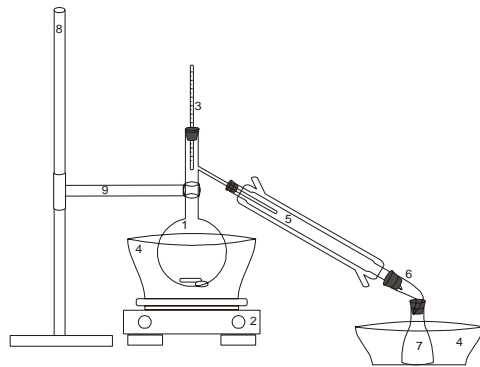
Bahan baku yang digunakan untuk penelitian ini yaitu katalis zeolit yang berasal dari zeolit alam kabupaten Malang. Zeolit alam yang digunakan ini diaktivasi terlebih dahulu dengan proses dealuminasi yaitu pelarutan zeolit dalam larutan HCl 6 N dengan perbandingan 1 gram zeolit dan 20 ml HCl. Larutan diaduk dan dipanaskan hingga suhu 80°C. Variabel yang digunakan dalam proses ini yaitu variabel waktu (5, 10, 15, 20, dan 24 jam) serta variabel campuran (zeolit alam Malang dengan zeolit alam Gunung Kidul dengan perbandingan 1:1 dan 1:3). Proses dealuminasi katalis ditunjukkan pada gambar 1 dan proses dehidrasi etanol ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 1. Proses dealuminasi katalis

Keterangan:

1. Labu leher 3
2. Magnetik stirrer + pemanas
3. Termometer
4. Waterbath
5. Pendingin balik
6. Statif
7. Klem



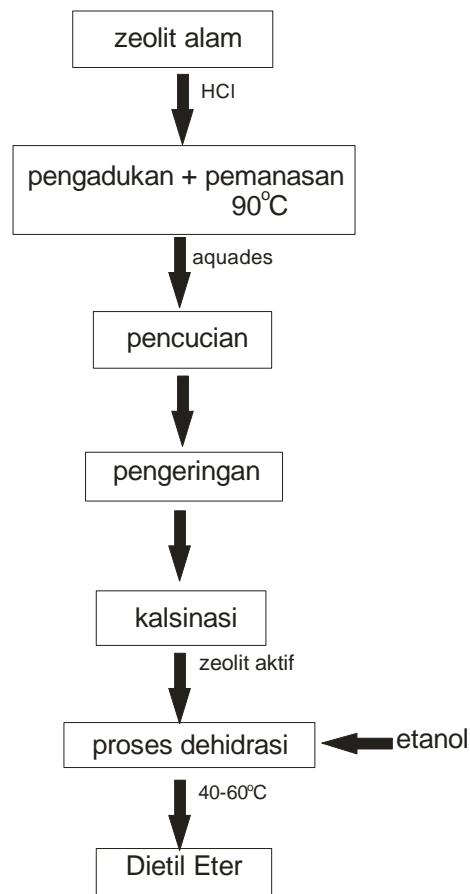
Keterangan:

1. Labu distilasi
2. Magnetik stirrer + pemanas
3. Termometer
4. Waterbath
5. Pendingin Leibigh
6. Corong
7. Erlenmeyer
8. Statif
9. Klem

Gambar 2. Proses dehidrasi etanol

Pada proses dealuminasi digunakan peralatan-peralatan yang sederhana, berupa labu leher 3 dengan magnetik stirer sebagai pengaduk. Rangkaian alat ini merupakan model reaktor berpengaduk dalam skala laboratorium. Digunakan pendingin balik untuk mengkondensasikan kembali uap yang terbentuk sehingga tidak ada massa yang hilang. Sedangkan pada proses dehidrasi etanol menggunakan labu distilasi dan magnetik stirer sebagai reaktor berpengaduk dalam skala laboratorium. Suhu uap yang dihasilkan dijaga pada 30-50°C dan uap dialirkan ke pendingin Leibigh untuk dikondensasikan. Hasil kondensat ditampung dalam erlenmeyer.

Proses yang pertama kali dilakukan dalam penelitian ini adalah proses dealuminasi katalis zeolit. Proses ini dilakukan dengan merendam zeolit alam malang dengan larutan HCl 6N. Setelah perendaman, zeolit dicuci dengan aquades hingga seluruh ion Cl^- hilang. Tes dengan larutan AgNO_3 dilakukan sebagai parameter bahwa zeolit telah bersih. Zeolit yang telah bersih dikeringkan dalam oven. Setelah proses dealuminasi, dilakukan proses kalsinasi. Zeolit yang telah dikalsinasi, digunakan sebagai katalis pada proses dehidrasi etanol menjadi dietil eter. Prosedur penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram proses

Respon yang diamati yaitu berat dan warna zeolit setelah proses dealuminasi dan volume cairan hasil uji katalitik. Zeolit yang telah diaktifasi dianalisa dengan X-ray Diffractometer (XRD) untuk menentukan tipe zeolit yang dihasilkan dan ukuran kristalinitas. Pengamatan dilakukan pada sudut 2θ antara 6° - 90° dan menggunakan panjang gelombang $K\alpha$ 1, 54056 Å. Uji katalitik dilakukan dengan proses dehidrasi etanol menjadi dietil eter. Reaksi dilakukan dengan perbandingan volume etanol dan berat katalis (V/F) yaitu 20 dengan menggunakan variabel feed yaitu etanol teknis 95% dan etanol absolut. Suhu uap yang dihasilkan dijaga antara 30 - 50°C . Hasil percobaan dianalisa dengan menggunakan Gas Chromatography (GC).

3. Hasil dan Pembahasan

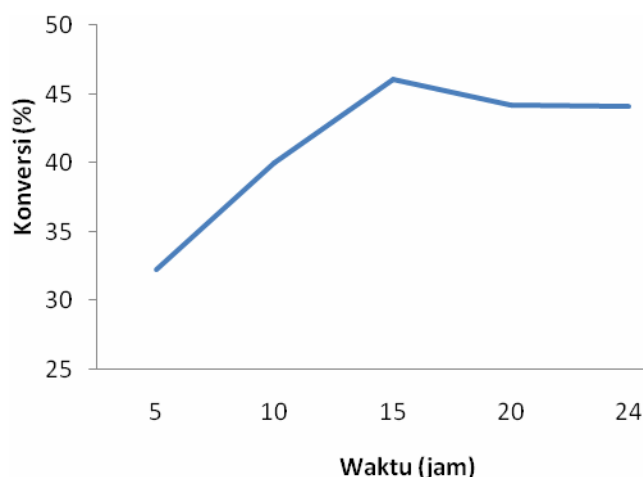
Pengaruh waktu terhadap proses aktivasi katalis zeolit alam kabupaten Malang

Selain mengandung silika dan alumina, zeolit alam juga mengandung komponen-komponen lain seperti magnesium oksida, kalium oksida, kalsium oksida, dan ferri oksida. Kandungan kimia yang terdapat di zeolit alam Malang telah diteliti oleh Setiadi (1990) pada tabel berikut

Tabel 1. Kandungan Kimia Zeolit Alam Malang

| <i>Chemical Formula</i> | <i>Wt(%)</i> | <i>Chemical Formula</i> | <i>Wt(%)</i> |
|-------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|
| Mg | 1.3434 | MgO | 1.5965 |
| Al | 7.9040 | Al ₂ O ₃ | 10.2816 |
| Si | 38.9490 | SiO ₂ | 53.2322 |
| S | 0.2282 | S | 0.1267 |
| K | 2.3985 | K ₂ O | 1.5275 |
| Ca | 39.9281 | CaO | 27.6908 |
| Ti | 0.5278 | TiO ₂ | 0.3802 |
| Mn | 0.3461 | MnO | 0.1886 |
| Fe | 8.0806 | Fe ₂ O ₃ | 4.8386 |
| Sr | 0.2944 | SrO | 0.1374 |

Perendaman zeolit dengan menggunakan larutan asam klorida (HCl) dimaksudkan untuk menghilangkan alumina dari framework Si/Al pada zeolit. Alumina yang terlarut dari framework akan terlarut menjadi alumina di luar framework. Namun pada proses perendaman ini tidak hanya alumina saja yang terlarut, tetapi juga komponen lain dalam zeolit alam. Hal ini akan mempengaruhi jumlah alumina yang terlarut dan juga mempengaruhi rasio Si/Al yang dihasilkan. Semakin lama waktu perendaman zeolit akan berpengaruh terhadap jumlah komponen terlarut yang terkandung pada zeolit tersebut. Hasil aktivasi zeolit ditunjukkan pada grafik di bawah ini



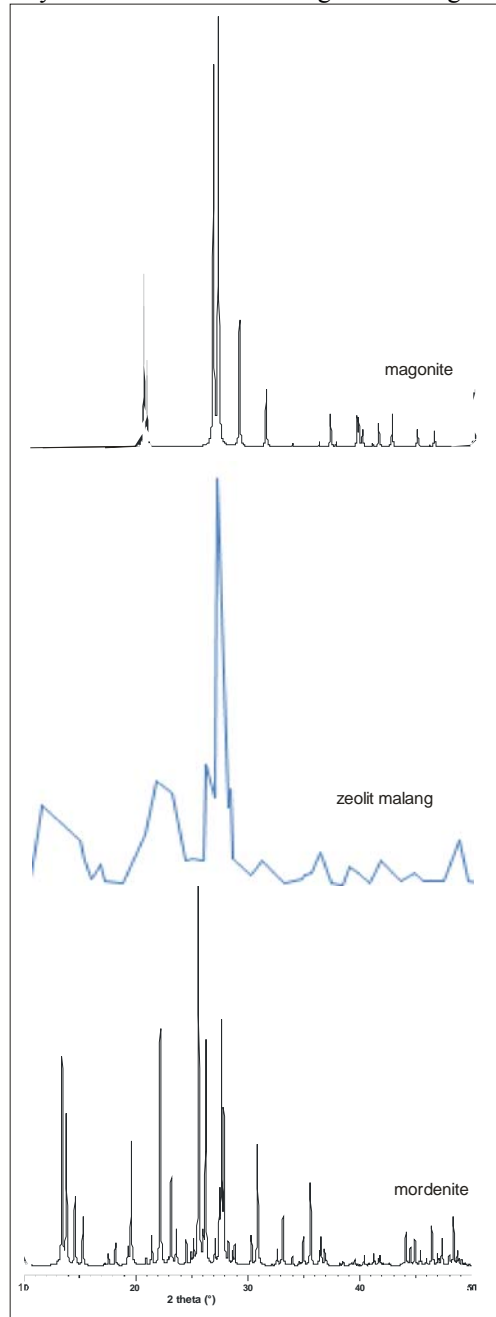
Gambar 4. Grafik pengaruh waktu dealuminasi dengan konversi

Pada proses dealuminasi ini digunakan konsentrasi HCl yang tetap yaitu HCl 6N. Semakin lama waktu perendaman maka semakin banyak komponen yang terlarut. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada waktu perendaman katalis 5 jam sampai 15 jam, konversi pelarutan zeolit cenderung meningkat. Namun, setelah itu

konversi cenderung konstan. Hal ini dikarenakan HCl yang digunakan sudah tidak dapat melarutkan komponen lagi (sudah jenuh). Sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu perendaman optimum berada pada waktu 15 jam.

Kristalinitas Katalis zeolit

Hasil analisa zeolit alam dibandingkan dengan pola difraktogram dari mordenit dan moganite. Pengamatan dilakukan pada sudut 2θ yaitu $10^\circ - 50^\circ$. Perbandingan difraktogram ditunjukkan pada gambar berikut

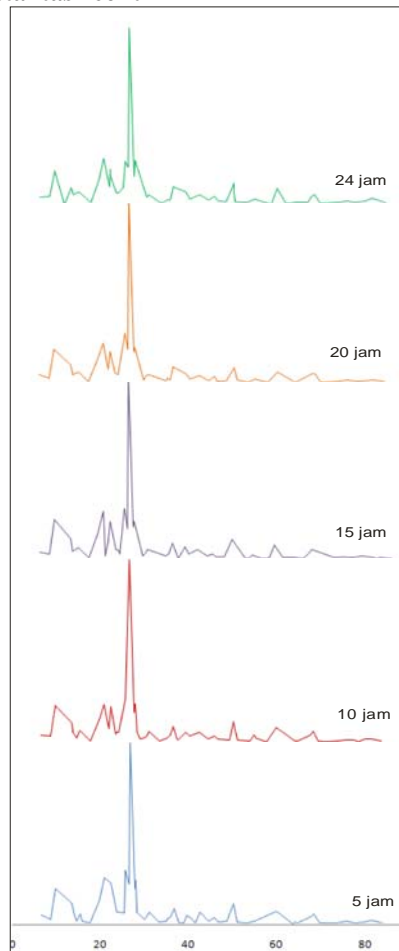


Gambar 5. Grafik Perbandingan Sampel Zeolit Alam dengan kristal mordenite dan Moganite

Dari grafik dapat dilihat bahwa difraktogram zeolit alam yang digunakan memiliki kemiripan pola difraktogram mordenit. Puncak utama pada mordenit yaitu pada d-spacing 4,004; 3,476; dan 3,395 juga ditunjukkan pada difraktogram zeolit alam. Kristalinitas zeolit alam dapat diperoleh dengan membandingkan jumlah intensitas 3 puncak tertinggi pada zeolit alam dengan jumlah intensitas 3 puncak tertinggi pada mordenit di sudut 2θ yang sama.

Walaupun pada zeolit alam terdapat puncak yang berada di sekitar puncak utama moganite, namun jika dilihat secara keseluruhan pola difraktogram lebih mendekati ke mordenit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur kristal zeolit alam Malang yang digunakan merupakan struktur kristal mordenite dengan kristalinitas 38-39%.

Pengaruh waktu aktivasi terhadap kristalinitas zeolit



Gambar 6. Grafik Pengaruh Variabel Waktu terhadap Pola Difraktogram Zeolit Alam

Analisa XRD ini dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang $1,54056 \text{ \AA}$ dengan sudut pengamatan 2θ $6-80^\circ$. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa bentuk pola difraktogram pada setiap variable waktu tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Letak peak utama pada setiap variable waktu hampir sama. Letak peak-peak kecil di sekitar peak utama pun cenderung sama di setiap variable waktu. Hal ini membuktikan bahwa variable waktu perendaman zeolit dengan HCl tidak mempengaruhi struktur kristalinitas dari sampel.

Letak puncak-puncak tertinggi dari setiap variable waktu hamper sama yaitu terletak pada d-spacing 4.004, 3.47 dan 3.36. Proses dealuminasi tidak mengubah struktur katalis secara signifikan, karena proses ini hanya melarutkan sedikit dari kandungan alumina dalam katalis sedangkan dalam katalis tersebut, terdapat komponen-komponen lain. Maka perubahan pada struktur katalis tiap variable waktu sangat kecil, sehingga grafik yang dihasilkan cenderung memiliki pola difraktogram yang sama.

Produk katalis zeolit

Setelah proses dealuminasi dilakukan, katalis zeolit yang dihasilkan dikalsinasi. Produk katalis ini dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. Hasil dealuminasi katalis

| waktu | warna |
|--------|------------------|
| 5 jam | Coklat muda |
| 10 jam | Coklat muda |
| 15 jam | Putih kecoklatan |
| 20 jam | Putih kecoklatan |
| 24 jam | Putih kecoklatan |

Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin lama proses perendaman HCl, zeolit alam yang dihasilkan semakin berwarna putih. Warna coklat yang masih terdapat pada zeolit, ini disebabkan oleh adanya komponen ferriete pada zeolit. Ferriete yang teroksidasi akan menjadi warna coklat. (Vogel, 1990) Ferriete ini tidak dapat seluruhnya terlarut dalam HCl, karena konsentrasi HCl yang digunakan sama yaitu 6 N untuk semua variabel waktu.

Uji katalitik (reaksi dehidrasi etanol)

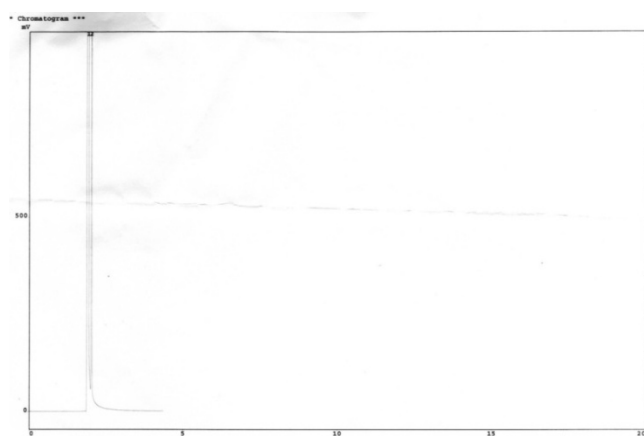
Zeolit alam yang dihasilkan diuji dengan proses dehidrasi etanol. Reaksi dehidrasi etanol dilakukan pada fase cair dengan suhu rendah yaitu pada suhu 30-60°C. Reaksi pada fase gas tidak dilakukan karena peralatan yang digunakan tidak memungkinkan. Pada proses ini digunakan volume etanol yang tetap yaitu 100 ml untuk etanol teknis dan 60 ml untuk etanol absolut. Konversi etanol dihitung berdasarkan massa etanol setelah proses dehidrasi dengan massa etanol sebelum proses. Hasil konversi etanol dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3. Hasil Uji Katalitik

| Jenis Katalis | Konversi (%) | |
|--|---------------|----------------|
| | Etanol Teknis | Etanol Absolut |
| Zeolit alam malang | | |
| 5 jam | 3,32 | |
| 10 jam | 2,74 | 2,76 |
| 15 jam | 4,48 | |
| 20 jam | 9,99 | |
| 24 jam | 11,12 | |
| Zeolit alam campuran (malang & gunung kidul) | | |
| 1:1 | 9,01 | 0,99 |
| 3:1 | 2,86 | |
| Alumina | 2,27 | 1,97 |

Ditinjau dari hasil yang didapatkan, etanol yang terkonversi dalam reaksi sedikit sekali. Hal ini dikarenakan reaksi dilakukan pada fase cair dan suhu yang rendah. Padahal reaksi pembentukan dietil eter terjadi pada suhu yang tinggi. Sehingga dimungkinkan reaksi yang terjadi merupakan reaksi dehidrasi etanol. Untuk memperoleh etanol terkonversi besar dan selektifitas dietil eter tinggi, maka sebaiknya proses reaksi dilakukan pada fase gas dengan suhu reaksi yang tinggi.

Hasil cair pada zeolit alam 15 jam dianalisa dengan menggunakan GC untuk mengetahui kuantitas dan kualitas produk. Hasil analisa dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7. Hasil uji katalitik sampel zeolit alam Malang 15 jam

Grafik yang dihasilkan terdiri dari 2 kurva. Kurva 1 merupakan hasil dari uji katalitik sampel, sedangkan kurva 2 merupakan kurva standar untuk eter. Dapat dilihat bahwa kurva 1 dan kurva 2 tidak bersinggungan ataupun berpotongan. Ini berarti dari sampel tidak terdapat eter. Hal ini dimungkinkan bahwa eter yang dihasilkan masih berupa gas/uap. Pada kondisi atmosferik eter masih berwujud gas, ditinjau dari sifat fisiknya yaitu memiliki titik didih pada 38°C sehingga bersifat volatil. Untuk memperoleh eter pada wujud cair, maka proses pendinginan/kondensasi yang dilakukan harus pada kondisi dibawah atmosferik yaitu suhu sekitar 15-20°C.

Penelitian mengenai dehidrasi etanol yang pernah dilakukan oleh Zaki (2004) menggunakan katalis logam oksida yang mengandung besi oksida, mangan oksida, dan campuran dari besi dan mangan oksida dengan alumina

dan/tanpa silika dengan rentang temperatur 200 – 500°C, menunjukkan adanya kesamaan pengaruh temperatur reaksi pada konversi etanol. Semakin besar suhu maka total konversi dari etanol pun semakin meningkat. Kesimpulan ini juga diperkuat oleh penelitian Golay (1999) dengan menggunakan katalis alumina yang dimodifikasi dengan Mg. Proses dehidrasi etanol dengan menggunakan katalis asam sulfat (proses barbet), dilakukan pada suhu 150°C agar tidak dihasilkan etilen. Pada proses ini dihasilkan dietil eter dengan konversi 94-95% (*Ullman vol 12, 1987*)

4. Kesimpulan

Dari hasil-hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa:

1. Waktu optimum perendaman zeolit alam untuk proses aktivasi katalis yaitu 15 jam
2. Katalis zeolit alam Malang yang digunakan mengandung struktur kristal mordenit sebesar 38 – 39
3. Variabel waktu dalam proses aktivasi katalis tidak mempengaruhi struktur kristal dari zeolit alam
4. Konversi etanol menjadi dietil eter pada reaksi fase cair sangat kecil, sehingga disarankan menggunakan reaksi pada fase gas dengan suhu tinggi.

Daftar Pustaka

- Bailey, B.K. 1996. "Performance of Etanol as a Transportations Fuel" dalam *Handbook on Bioetanol: Production and Utilization*, editor C.E., Wayman, Taylor & Francis, Washington, hal 37-60
- Barrer, R.M. 1982. "Hydrothermal Chemistry of Zeolite". Academic Press London
- Golay, Serge., L Kiwi-Minsker., R Doepper., A Renken, 1999. "Influence of of The Catalyst Acid/Base Properties on the Catalytic Ethanol Dehydration under Steady State and Dynamic Conditions. *In situ Surface and Gas Phase Analysis*". Chemical Engineering Science 54, p 3593-3598
- Haber J., K Pamin, L Matachowski, B Napruszewska, and J Pol Towicz, 2002. "Potassium and Silver Salts of Tungstophosphoric Acid as Catalysts in Dehydration of Ethanol and Hydration of Ethylene", Journal of Catalysis 207, 296-306
- Kitto Borsa T, DA. Pacas, S Selim and SW. Cowley, 1998. "Properties of an Ethanol-Diethyl Ether-Water Fuel Mixture for Cold-Start Assistance of an Ethanol-Fueled Vehicle", *Ind. Eng. Chem. Res.* 37, 3366-3374
- Kosaric, N., Z. Duvnjak, A. Farkas, H. Sahm, S., Bringer-Meyer, O., Goebel dan D. Mayer, 1993. "Etanol" dalam *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, edisi 5 vol A9., Verlag-Chemie, Weinheim, Jerman, hal 587-653
- Rachwalik, R., Z Olejniczak, and B Sulikowski, 2005. "Dealumination of Ferrierite of type Zeolit: Physicochemical and Catalytic Properties". *Catalysis Today* 101, p 147-154
- Setiadi dan A. Pertiwi. 2007. "Preparasi dan Karakteristik Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa ABE menjadi Hidrokarbon". Prosiding Kongres dan Simposium Nasional kedua MKICS, ISSN: 0216 - 4183
- Ullmann, 1987. "Encyclopedia of Industrial Chemistry", 5th edition, vol A.10., VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim Fderal Republic of Germany
- Vogel, 1990. "Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro" edisi ke lima. Jakarta, PT Kalman Media Pustaka
- Zaki, T, 2005. "Catalytic Dehydration of Ethanol using Transition Metal Oxide Catalysts". *Journal of Colloid and Interface Science* 284, p 606-613